

7ª Conferência sobre Redes de Computadores
Mobilidade, Segurança e Qualidade de Serviço numa Nova Geração da Internet
7 e 8 de Outubro de 2004 - Leiria



[Programa](#) [Apelo a Comunicações](#) [Datas](#) [Âmbito e Objectivos](#) [Localização](#) [Informação aos Autores](#)
[Vídeo-difusão](#) [Actas](#) [Comissão de Programa](#) [Alojamento](#) [Historial](#) [Inscrições On-line](#)

Organizada por:



Apoio de:



Piloto IPv6 numa Rede Wi-Fi

Eduardo Costa, Nuno Rodrigues, Rui Lopes
Instituto Politécnico de Bragança

`eduardo.mm.costa@alunos.ipb.pt`, `nuno@ipb.pt`, `rlopes@ipb.pt`

19 de Julho de 2004

Resumo

A implementação em grande escala do protocolo IPv6 nas redes de computadores tem vindo sucessivamente a ser protelada no tempo, devido a diversos factores. Entre os principais, destaca-se o facto de os serviços continuarem a ser disponibilizados quase exclusivamente em IPv4, retirando ao utilizador final as principais vantagens da utilização nativa da pilha protocolar IPv6 nos postos de trabalho.

Grande parte das estratégias actuais de migração para o protocolo IPv6 passa pela coexistência de ambas as pilhas protocolares. Uma abordagem alternativa passa pela conversão de protocolos de forma a permitir aos utilizadores utilizarem IPV6 nativo, mesmo quando contactam serviços em IPv4. Para o efeito, é utilizado NAT-PT (*Network Address Translation – Protocol Translation*) que, além de fazer a tradução de endereços, faz também a adaptação protocolar entre as pilhas protocolares IPv6 (a jusante) e IPv4 (a montante).

O presente trabalho descreve os resultados dos testes de conectividade realizados para avaliar a viabilidade da utilização de uma única da pilha protocolar IPv6 para endereçamento de clientes no cenário de uma rede Wi-Fi.

Palavras-Chave: IPv6, NAT-PT, Rede Wi-Fi, Transição IPv4/IPv6.

1 Enquadramento

Na sequência da crescente evidência de algumas limitações da versão corrente do protocolo IP (versão 4), foi desenvolvida, durante a década de 90, uma nova versão como medida de médio prazo. Entre as principais limitações destacam-se: progressivo esgotamento do espaço de endereçamento de 32 bits; rápido crescimento das tabelas de encaminhamento nos encaminhadores centrais da Internet e ausência de QoS.

Entretanto, com o desenvolvimento de outras medidas de curto prazo, como a possibilidade de utilização de endereçamento privado em conjunto com o mecanismo NAT (*Network Address Translation*) e o CIDR (*Classless Inter-Domain Routing*), foram minimizadas algumas das limitações referidas, o que se traduziu num prolongamento da vida útil do IPv4.

Mais recentemente, têm vindo a surgir novos factores potencialmente capazes de dar novo fôlego ao arranque em força do IPv6, como seja a implementação de redes móveis de terceira geração (UMTS – *Universal Mobile Telecommunications System*), o incremento dos serviços *peer-to-peer* (P2P) associados à necessidade de endereçamento universal e ao forte crescimento da utilização da Internet nos países mais populosos do planeta – China e Índia. Contudo, e apesar destes factores, o dilema persiste: as organizações e os ISP's continuam a não implementar redes nativas IPv6 porque, dizem, os utilizadores ainda não procuram este tipo de infraestrutura. Por outro lado, os utilizadores continuam a não ter motivos para mudar para IPv6 porque as organizações e os ISP's ainda não disponibilizam aplicações e serviços sobre este protocolo.

Adicionalmente, podem-se identificar mais alguns factores que têm contribuído para a não massificação do protocolo IPv6: disponibilidade actual de endereços IPv4 (apesar de todas as previsões, ainda não se nota uma falta real de endereços); avanços muito lentos na disponibilização de implementações estáveis da pilha protocolar IPv6, quer nos sistemas operativos mais conhecidos, quer nos equipamentos de rede (comutadores, encaminhadores, firewalls, etc).

O presente trabalho surgiu como tentativa de quebrar o círculo vicioso referido atrás, procurando disponibilizar aos utilizadores acesso aos principais serviços Internet unicamente através da pilha protocolar IPv6.

De entre os vários métodos de migração definidos de IPv4 para IPv6 analisados no âmbito deste trabalho, o NAT-PT (*Network Address Translator – Protocol Translator* [RFC2766]) é aquele que melhor se adapta aos objectivos definidos para este projecto. Pretendeu-se assim implementar uma rede piloto, sobre a rede Wi-Fi do Instituto Politécnico de Bragança, onde foi testada a conectividade dos clientes IPv6 a serviços IPv4. Na fronteira da rede piloto implementou-se um *gateway* de NAT-PT para permitir o acesso transparente aos serviços mais comuns (*World Wide Web*, *Correio Electrónico*, *Telnet*, *SSH*, *Instant Messaging*, entre outros).

2 Mecanismos de Transição IPv4/IPv6

Devido à impossibilidade de se transitar instantaneamente todas as redes de IPv4 para IPv6, é necessário encontrar formas de os dois protocolos poderem coexistir, de maneira a que a transição seja suave e faseada. Por este motivo, é importante manter a compatibilidade com o grande número de dispositivos que usam IPv4. O NGTRANS é um grupo de trabalho do IETF (Internet Engineering Task Force), criado com o objectivo de promover e assistir à transição para IPv6. Com esse objectivo definiu um conjunto de mecanismos que contribuem para a compatibilidade entre IPv6 e IPv4, tanto para *hosts* como para *routers* ([RFC1933], [RFC2893], [RFC2766], [RFC3142]). Esses mecanismos são:

- Sistemas de Dupla Pilha (*Dual Stack*): fornecem aos *hosts* e *routers* suporte para ambas as versões do protocolo IP, tornando assim possível, independentemente do tipo de rede, aceder a conteúdos, usando tanto IPv4 como IPv6.
- Túneis IPv6 sobre IPv4: permitem fazer a ligação de conjuntos de *hosts* com

suporte IPv6 mas separados por redes IPv4. O tráfego IPv6 é encapsulado em pacotes IPv4 passando por *routers* que suportam apenas IPv4.

- NAT-PT (*Network Address Translation - Protocol Translation*): método de transição que permite a comunicação entre *hosts* apenas IPv4 com *hosts* apenas IPv6. Um *router* com capacidades NAT-PT, deve situar-se na fronteira entre a rede IPv4 com a rede IPv6 e usar um conjunto de endereços IPv4 para assumir a correspondência com endereços IPv6, de forma estática ou dinâmica.
- TRT (*Transport Relay Translator*): método de translação situado ao nível da camada de transporte, sendo feita a translação dos protocolos TCP e UDP. Tal como o NAT-PT deve-se situar na fronteira entre a rede só IPv6 e a rede só IPv4.

3 NAP-PT

O NAT-PT (*Network Address Translation - Protocol Translation*[RFC2766]) é um método de transição que permite a comunicação entre *hosts* apenas IPv4 com *hosts* apenas IPv6 sem ter de mudar nada nestes.

Um *router* com capacidades NAT-PT deve situar-se na fronteira entre a rede IPv4 com a rede IPv6, e usar uma *pool* de endereços IPv4 que serão utilizados para mapear endereços IPv6. Esta correspondência pode ser estática ou dinâmica, sendo as sessões recriadas pelo *router*. Os mapeamentos são usados de forma transparente para o utilizador final, para substituir os endereços de origem usados nos *hosts* finais IPv6 e vice-versa. Para isso, é necessário que o NAT-PT guarde as sessões tanto de entrada como de saída e que os pacotes trocados pertençam a sessões que apenas digam respeito a um *router* NAP-PT. Isto quer dizer que o *router* NAT-PT deve estar ligado a uma rede do tipo *stub*, ou seja, apenas ter um destino possível.

Para a tradução com NAT-PT seja transparente para as aplicações, é necessário usar algumas ALG's (*Application Level Gateways*), sendo as mais comuns a DNS-ALG e FTP-ALG.

Os nomes para endereços IPv4 são mapeados no DNS em registos do tipo **A** e os nomes associados a endereços IPv6 são mapeados no DNS em registos do tipo **AAAA**. O DNS-ALG tem de traduzir uma consulta do DNS do tipo **AAAA**, vinda de um cliente localizado na rede IPv6, para uma consulta do tipo **A**, caso o servidor de nomes a ser consultado se encontre na rede IPv4. Ao receber uma resposta IPv4, o DNS-ALG tem de mapeá-la num endereço IPv6 (IPv4-Compatível). O processo inverso também deve ser tratado, pois máquinas que estejam num domínio puramente IPv4, ao requererem a resolução de nomes para endereços IPv4 esperam sempre endereços IPv4 como resposta, ainda que estes nomes referenciem serviços que estejam em domínios puramente IPv6. Isso também ocorre com solicitações vindas de domínios puramente IPv6. A pilha com os protocolos necessários para a utilização do NAT-PT e DNS-ALG é representada na Figura 1.

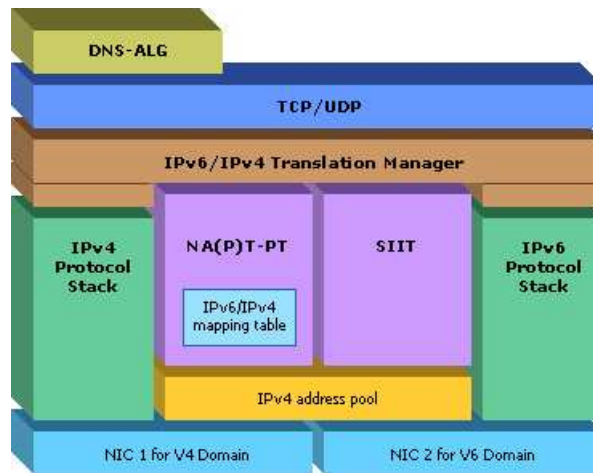


Figura 1: Pilha do Gateway NAT-PT conforme recomendação da RFC2766. [RNP]

4 Implementações de NAT-PT

Existem diversas implementações disponíveis do NAT-PT para várias plataformas, tendo sido avaliadas no âmbito do presente trabalho as seguintes: CISCO, CLICK, ETRI e KAME.

4.1 Implementação NAT-PT da CISCO

A implementação do NAT-PT para CISCO IOS [Cisco] foi desenhada e implementada com base nos RFC 2766 e RFC 2765, para funcionar como mecanismo de transição entre redes IPv4 e redes IPv6. O NAT-PT é um mecanismo de tradução, e ao ser usado para interligar redes IPv4 com IPv6 possibilita a comunicação directa entre máquinas só IPv4 com máquinas só IPv6. A implementação da Cisco suporta três tipos de NAT-PT:

- Estático
- Dinâmico
- Tradução dos Portos

Esta implementação não chegou a ser testada devido à falta de uma imagem de IOS com suporte de NAT-PT. Além disso, e porque essa imagem ocupa 64Mb, o *router* disponível tinha apenas 32Mb de memória, pelo que não foi possível testar.

4.2 Implementação NAT-PT da CLICK

O Click [Click] é um router em software, modular, e que foi implementado pelo MIT LCS's (Parallel and Distributed Operating Systems Group), Mazu Networks, ICSI (Center for Internet Research). Este router é mais flexível que os router implementados em hardware e tem a capacidade de aceitar módulos (denominados elementos) para controlar vários aspectos do router, tais como:

- Comunicação entre os dispositivos
- Modificação de Pacotes
- Gestão de Filas
- Gestão de políticas de routing

Existe um elemento para o router que consiste numa implementação do NAT-PT [Merlinux] e de duas gateways da camada de aplicação para os protocolos FTP e DNS, desenvolvido por dois alunos da Universidade Javeriana de Bogota – Colombia.

4.3 Implementação NAT-PT da ETRI

O grupo NGISRT (Next Generation Internet Standard Research Team) do ETRI (Electronics and Telecommunications Research Institute), desenvolveu uma versão do NAT-PT [ETRI] para correr em modo de utilizador no linux. Esta versão foi desenvolvida em 2001 para correr no `kernel-2.4.0-test9` e testada no RedHat 6.2.

4.4 Implementação NAT-PT da KAME

O KAME [Kame] é um projecto que resultou do esforço conjunto de seis companhias: Fujitsu Limited, Hitachi, Ltd., Internet Initiative Japan Inc., NEC Corporation, Toshiba Corporation e Yokogawa Electric Corporation.

Este projecto é livre e implementa várias funcionalidades, entre as quais: IPv6, IPsec (tanto em IPv4 como IPv6), 6to4, NAT-PT, ATM-PVC, ALTQ (Alternative Queueing) e IPv6 Multicasting.

As implementações deste projecto estão contidas num pacote que pode ser usado nos sistemas operativos da família BSD e Apple Darwin. O pacote consiste num kernel da família BSD ao qual são acrescentadas as funcionalidades implementadas pelo projecto Kame. O NAT-PT disponível no Kame é usado em máquinas que fazem a fronteira entre redes IPv4 e redes IPv6 e recorre ao mapeamentos de endereços IPv4 e IPv6, bem como de portos, para fazer a tradução do pacotes. Os mapeamentos podem ter diversas configurações:

- mapeamento de todos endereços IPv6 para um ou mais endereços IPv4
- mapeamento de um conjunto de endereços IPv6 para um ou mais endereços IPv4
- mapeamento de todos ou apenas um conjunto de endereços IPv6 para um endereço IPv4 e um conjunto de portos
- mapeamento de um endereço/porto IPv6 para um endereço/porto IPv4
- mapeamento de um pacote vindo de um endereço IPv4 específico e com destino a um endereço IPv6 específico com um porto de destino específico

Esta implementação do NAT-PT tem também a opção de fazer NAT IPv4.

5 Implementação da Rede de Testes

A primeira fase do trabalho consistiu na implementação de uma rede de testes, constituída pelos seguintes equipamentos:

- 1 Pc Servidor *Pentium4* 2000MHz
- 2 *switchs*
- 1 Pc Portátil *Pentium Centrino* 1600MHz, com placa *wifi*
- 1 AP1100 da Cisco
- Cabos necessários

Na segunda fase do trabalho, o *Access Point* foi substituído pela rede Wi-Fi do IPB (130 AP's), onde foi ligado o servidor com a implementação de NAT-PT (Figura 2). O PC servidor é a máquina que vai ter o NAT-PT e o DNS-ALG(totd) a correr, e também neste caso, foi usada para suportar o servidor de DNS v6. Depois de previamente instalado o FreeBSD 4.9, para instalar e configurar o NAT-PT é necessário obter a última versão do *kame* no site www.kame.net e compilá-la seguindo as instruções contidas no ficheiro *INSTALL*, sendo necessário descomentar no ficheiro de configuração a linha:

```
options NATPT
```

Depois de compilado passamos à sua configuração, e para isso criamos um ficheiro chamado *natpt.conf*, na directoria */etc*, e no qual são definidos os mapeamentos usados e o prefixo a usar para a translação. No nosso caso o ficheiro tem as seguintes linhas:

```
# limpar a tabela
map flush

#prefixo usado na translação
prefix 3ffe:0501:041c:c1ad::

# forçar o uso de fragmentação quando o campo
# DF dos pacotes IPv4 está activo
set forcefragment = 1

#mapeamento de todos os endereços IPv6 para um endereço IPv4
map from any6 to 193.136.195.209

#activar o mapeamento
map enable
```

É necessário também acrescentar as seguintes linhas no ficheiro */etc/rc.conf*:

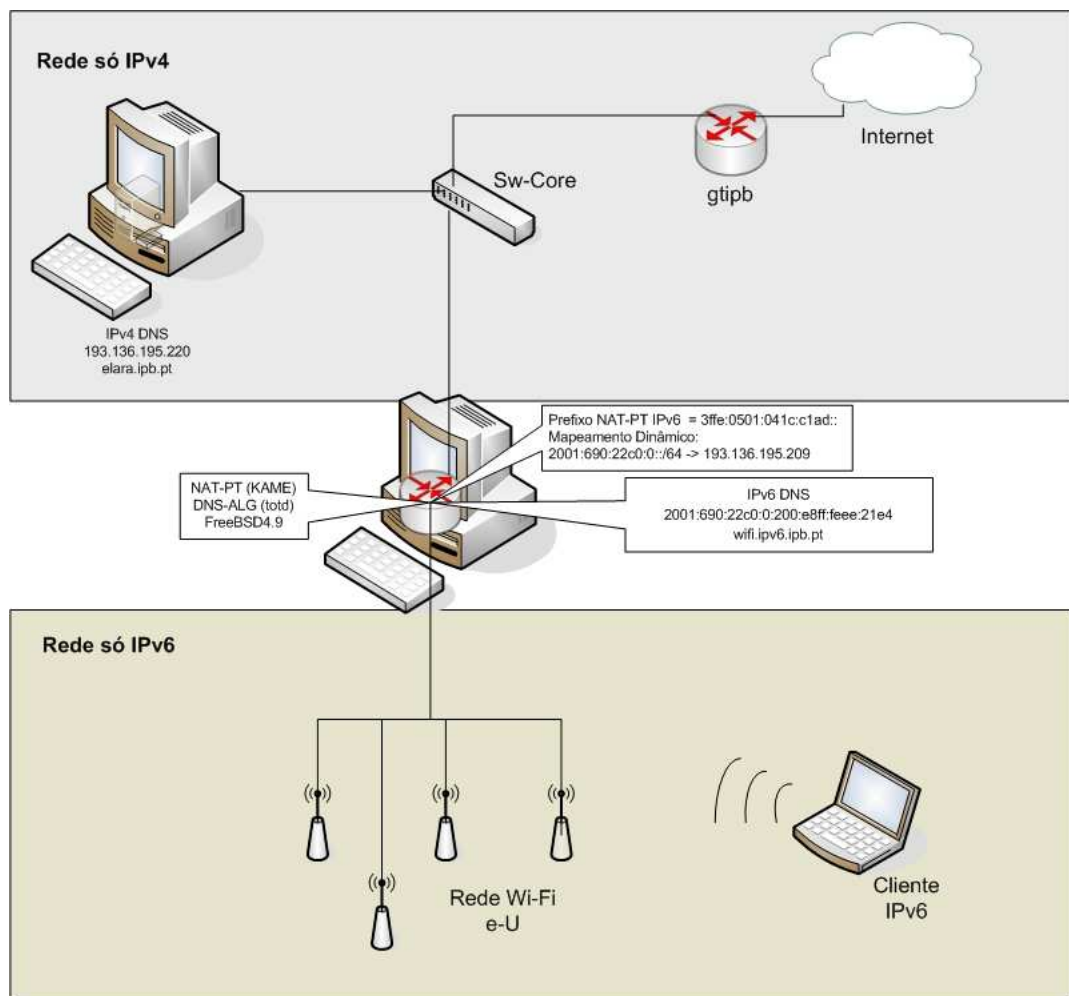


Figura 2: Topologia da Rede Testes – 2a Fase


```

ipv6_enable="YES"
ipv6_network_interfaces="rl0"
ipv6_gateway_enable="YES"
ipv6_prefix_rl0="2001:690:22c0:0"
prefixcmd_enable="NO"
rtadvd_enable="YES"
rtadvd_interfaces="rl0"

```

Para instalar e configurar o DNS-ALG, é necessário instalar o pacote `totd` e depois editar o ficheiro `/usr/local/etc/totd.conf` e definir as seguintes linhas:

```

# servidor de DNS v4
forwarder 193.136.195.220 port 53

# servidor de DNS v6
forwarder 2001:690:22c0:0:200:e8ff:feee:21e4 #port 53

#prefixo usado na translação
prefix prefix 3ffe:0501:041c:c1ad::

#porto onde vai correr o DNS-ALG
port 5005

retry 300

```

E acrescentar no `named.conf` do servidor de DNS v6 as seguintes linhas:

```

recursive-clients 3500;
forwarders { ::1 port 5005; };

```

No PC portátil, com sistema operativo Linux, apenas com pilha IPv6, foi configurada a placa Wi-Fi para automaticamente obter um endereço IPv6 com base no prefixo que lhe é enviado pelo *router advertisement* que está a correr no servidor onde corre também o NAT-PT. Para ter suporte em Windows XP, é necessário apenas activar a *stack* IPv6, correndo o comando `ipv6 install` na linha de comandos. Ao contrário dos sistemas Linux, o protocolo IPv6 não funciona ainda no Windows sem a *stack* IPv4. Tal como em Linux o endereço é atribuído pelo *router advertisement*.

6 Testes Realizados

Foram realizados testes de conectividade a partir do portátil com alguns serviços aplicativos, nomeadamente HTTP, SSH, FTP, Telnet, ICMPv6, SMTP, POP3S e IMAPs.

Todos os serviços funcionaram correctamente, entre a rede IPv6 e a rede IPv4, desde que a comunicação fosse iniciada do lado IPv6.

Para além destes testes, foram ainda realizados testes de *performance*, tendo-se usado para isso o utilitário `ping` e um cliente de `ftp`. O primeiro teste consistiu

RTT Médio (64 bytes)	TTT (64 bytes)	RTT Médio (512 bytes)	TTT (512 bytes)	RTT Médio (1024 bytes)	TTT (1024 bytes)
19.134ms	9005ms	27.866ms	9008ms	23.834ms	9007ms
23.038ms	9007ms	21.747ms	9017ms	23.208ms	9012ms
18.676ms	9007ms	25.624ms	9007ms	43.451ms	9008ms
19.219ms	9017ms	27.521ms	9007ms	26.182ms	9025ms
18.569ms	9013ms	24.413ms	9011ms	24.165ms	9005ms
31.117ms	9008ms	26.53ms	9017ms	25.383ms	9007ms
Média					
21.626	9009.5	25.617	9011.167	27.704	9010.667
Desvio Padrão					
4.942	4.55	2.278	4.75	7.79	7.394

Tabela 1: Resultados obtidos de 6 *pings* usando ICMPv4

em fazer três sessões com os protocolos ICMPv4 e ICMPv6, com tamanhos diferentes de pacotes: 64 bytes, 512 bytes, 1024 bytes. Os resultados obtidos são apresentados na `tabela1` para IPv4 e na `tabela2` para IPv6.

Através do cálculo da média, observa-se que existe em geral um RTT¹ maior no caso do IPv6, para todos os tamanhos, menos para pacotes de 1024 bytes, em que é ligeiramente inferior aos resultados em IPv4. Conclui-se também que os valores TTT² no IPv6 são inferiores aos do IPv4.

O segundo teste consistiu em fazer a transferência de um ficheiro de aproximadamente 50Mb, através de um cliente `ftp` instalado no PC Portátil, para um Servidor localizado na rede IPv4. Foram feitas 6 transferências para cada versão do protocolo. Os resultados obtidos são apresentados na `tabela3`.

Através do cálculo da média, é possível observar que, com o protocolo IPv4, a transferência é significativamente mais rápida. A justificação para este facto pode estar na degradação da *performance* introduzida pelo *gateway* de NAT-PT, já que é consumido algum tempo adicional com o processo de translação.

7 Conclusões

Com a realização da fase prática do projecto - implementação de uma rede Wi-Fi de testes a correr em IPv6, foi possível fazer uma análise dos resultados obtidos. Estes relacionam-se com a possibilidade de clientes IPv6 numa rede Wi-Fi, conseguirem aceder a serviços e à Internet, que correm em IPv4. Tanto o Linux, como o Windows XP têm suporte nativo IPv6, sendo no Windows necessário proceder previamente à sua activação.

¹O RTT (*Round Trip Time*) representa o tempo que o pacote demora a deixar a máquina origem, atingir a máquina destino e regressar à máquina origem.

²Tempo Total de Transferência dos 10 pacotes

RTT Médio (64 bytes)	TTT (64 bytes)	RTT Médio (512 bytes)	TTT (512 bytes)	RTT Médio (1024 bytes)	TTT (1024 bytes)
22.777ms	9006ms	28.901ms	9007ms	24.859ms	9007ms
20.115ms	9007ms	30.208ms	9007ms	25.867ms	9005ms
22.345ms	8998ms	22.737ms	9011ms	37.807ms	9007ms
20.261ms	9007ms	29.546ms	9007ms	25.381ms	9019ms
21.858ms	9007ms	22.909ms	9007ms	25.889ms	9023ms
27.006ms	9007ms	29.512ms	9006ms	25.9ms	9010ms
Média					
22.394	9005.333	27.302	9007.5	27.617	9011.833
Desvio Padrão					
2.508	3.615	3.495	1.761	5.009	7.387

Tabela 2: Resultados obtidos de 6 *pings* usando ICMPv6

Transferências em IPv4	Transferências em IPv6
647.8KB/s	518.0KB/s
648.2KB/s	514.3KB/s
608.2KB/s	500.4KB/s
632.7KB/s	423.3KB/s
650.5KB/s	518.8KB/s
630.9KB/s	518.4KB/s
Média	
636.38KB/s	498.89KB/s
Desvio Padrão	
16.17KB/s	37.67KB/s

Tabela 3: Transferências feitas por *ftp* em IPv4 e IPv6

No que diz respeito ao acesso aos serviços de rede, com o NAT-PT já é possível para os serviços mais usuais (DNS, E-Mail, FTP, HTTP, NTP), que clientes IPv6 nativos em Linux, acedam a serviços a correr IPv4 nativo. Quanto aos clientes Windows XP, conseguem ter conectividade, mas devido a dificuldades de configuração do cliente do serviço de nomes IPv6 neste Sistema Operativo, ainda não é possível usar a resolução de nomes.

O objectivo deste projecto era estudar o NAT-PT como uma possível solução para permitir que clientes IPv6 nativos possam conectar-se à rede Wi-Fi do Instituto Politécnico de Bragança (IPB). Agora que a análise dos resultados obtidos está feita, podemos começar a tirar algumas conclusões relativas à viabilidade desta solução. Ao nível de equipamentos de *hardware* usados na rede de testes, não há qualquer limitação. Ao nível do *software*, existem ainda algumas limitações, porque nem todas as aplicações cliente funcionam, mas esta limitação poderá ser ultrapassada com a implementação de *gateways* ao nível da camada de aplicação, tal e qual como existe para a translação do DNS (DNS-ALG).

Inicialmente, nos primeiros testes feitos depois do NAT-PT estar instalado, havia alguma dificuldade e lentidão na abertura de páginas HTTP, principalmente quando as mesmas eram mais pesadas (com imagens). Este problema era devido à não fragmentação dos pacotes de tamanho superior a 1260 octetos aquando da translação na *gateway* NAT-PT, pois em IPv6 é da responsabilidade de quem envia verificar se o pacote tem o tamanho correcto para o MTU definido para o troço de rede. A resolução deste problema passou por obrigar o NAT-PT, durante a translação, a fragmentar pacotes IPv4 de tamanho superior a 1260 octetos e passá-los para pacotes IPv6 com cabeçalhos de extensão para fragmentação. Houve também alguns problemas na resolução de nomes, motivados pela quantidade de pedidos que podiam ser atendidos pelo servidor de DNSv6, mas que foram também resolvidos aumentando o número de pedidos possíveis.

Foram realizados testes de *performance* na transmissão de pacotes, de modo a fazer uma comparação entre o acesso de clientes IPv4 a serviços IPv4 e clientes IPv6 a serviços IPv4. Pelos resultados obtidos, visíveis nas tabelas 1, 2 e 3, podemos concluir que em transmissões de pacotes até 1024 bytes é mais estável e mais rápido usando IPv6, assim como podemos concluir que a dispersão de velocidades é menor no IPv6. Pelos testes feitos com o *ftp*, podemos concluir que o IPv4 teve um melhor comportamento, tanto em rapidez como numa menor dispersão nas velocidades. Visto que nos testes *ftp*, foi usado um ficheiro de aproximadamente 50MB, uma possível causa para os resultados com o IPv6 serem inferiores aos obtidos IPv4, poderá ter a ver com a fragmentação dos pacotes IPv4 e translação para pacotes IPv6 com cabeçalhos de extensão para fragmentação, na *gateway* NAT-PT.

Em jeito de conclusão final, e atendendo aos objectivos deste projecto, pode-se dizer que esta alternativa de migração para IPv6 é já actualmente viável para clientes com Sistema Operativo Linux, apresentando ainda limitações sérias com sistemas Windows, para além de algumas dificuldades com certas aplicações que usam portos menos comuns.

A principal vantagem desta abordagem está no facto de a utilização nativa da pilha IPv6 nos clientes poder trazer motivações adicionais à implementação e disponibilização de serviços em redes nativas IPv6, acelerando desta forma o processo de

migração.

Referências

- [RFC1933] R. Gilligan, E. Nordmark, *Transition Mechanisms for IPv6 Hosts and Routers*, 199622
- [RFC2766] G. Tsirtsis, P. Srisuresh, *Network Address Translation - Protocol Translation (NAT-PT)*, 2000
- [RFC2765] R. Gilligan, E. Nordmark, *Transition Mechanisms for IPv6 Hosts and Routers*, 2000
- [RFC3142] J. Hagino, K. Yamamoto, *An IPv6-to-IPv4 Transport Relay Translator*, 2001
- [RFC2893] R. Gilligan, E. Nordmark, *Transition Mechanisms for IPv6 Hosts and Routers*, 2000
- [Cisco] Página da Cisco, <http://www.cisco.com/>, acesso em Julho de 2004
- [ETRI] Página do NAT-PT da ETRI, <http://www.ipv6.or.kr/english/download.htm>, acesso em Julho 2004
- [Click] Página do Click, <http://www.pdos.lcs.mit.edu/click/>, acesso em Julho 2004
- [Merlinux] Página da Merlinux, <http://www.merlinux.org/natpt/>, acesso em Julho 2004
- [Kame] Página da Kame, <http://www.kame.net>, acesso em Julho de 2004
- [FreeBSD] Página do FressBSD, <http://www.freebsd.org>, acesso em Julho de 2004
- [DNS] Página da Zytrax, <http://www.zytrax.com/books/dns/>, acesso em Julho 2004
- [BIND9] Página do Bind9, <http://www.isc.org/index.pl?sw/bind/>, acesso em Julho 2004
- [RNP] Página da Rede Nacional de Ensino e Pesquisa, <http://www.rnp.br/>, acesso em Julho 2004